УДК 629.06

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ТЕПЛООВОГО АКУМУЛЯТОРА СИСТЕМИ ПЕРЕДПУСКОВОГО ПРОГРІВУ ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

Луняка К.В.¹, докт. техн. наук, Ключев О.І.², канд. техн. наук, Русанов С.А.², канд. тех. наук,
Ключева О.О.²

1 - Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Херсонська філія, просп. Ушакова, 44, Херсон, 73022, Україна.

2 - Херсонський національний технічний університет, Бериславське шосе, 24, Херсон, 73028, Україна.

<https://doi.org/10.31472/ttpe.3.2020.9>

Розглянуто роботу теплового акумулятора з теплоакumuлюючою речовиною фазового переходу в системі охолодження автомобільного двигуна. Визначено час зарядження і перебування теплоакumuлятора в зарядженому стані, побудовані режими його роботи при зарядженні й розрядженні, визначені потрібна маса теплоакumuлюючого матеріалу і габарити теплоакumuлятора.

Рассмотрена работа теплового аккумулятора с теплоакumuлирующим веществом фазового перехода. Определено время зарядки и нахождения в заряженном состоянии, построены режимы его работы при зарядке и разрядке, определены необходимая масса теплоакumuлирующего материала и габариты аккумулятора.

The work of the heat accumulator with the heat-storage substance of the phase transition was considered. The time of charging and being in the charged condition was determined, the operating modes during charging and discharging was constructed, the necessary mass of the heat-accumulating material and the battery size was determined.

Бібліографія 11, рис. 2, табл. 3.

Ключові слова: теплоакumuлятор, теплоакumuлюючий матеріал фазового переходу, двигун автомобіля, запуск двигуна.

Q – кількість теплоти;

c – питома теплоємність;

m – маса;

r – питома теплота кристалізації;

t – температура;

ρ – густина;

τ – час;

Індекси нижні:

тос.ТА – тосол в теплоакumuляторі;

тос.двиг. – тосол в оболонці охолодження двигуна;

ззовні – оточуюче середовище.

Скорочення:

ТА – теплоакumuлятор;

ТАМ – теплоакumuлюючий матеріал;

ТЕН – трубчастий електронагрівач;

СОД – система охолодження двигуна.

чому, перевагу віддають ТА з ТАМ фазового переходу. Представлені в літературних джерелах досить чисельні конструкції ТА фазового переходу демонструють певний прогрес у цій області [5-7].

Такі ТА являють собою ємності, що містять речовину, яка потребує теплоту на своє розплавлення, а при кристалізації цю теплоту виділяє; це дає можливість зберігати достатньо високу температуру ТАМ на протязі досить тривалого часу, наприклад, при стоянці автомобіля при мінусових температурах [8, 9]. Розплавлення ТАМ і підтримання його у цьому стані здійснюється двома шляхами. Перший – за рахунок теплоти відпрацьованих газів двигуна, які мають температуру 600-700 °С [6], другий – за рахунок

Вступ

Постановка проблеми. Запуск двигунів внутрішнього згорання для великого парку автомобілів при температурах оточуючого середовища нижче за 5 °С потребує значного часу, що призводить до підвищення зношення деталей сполучених пар двигуна, збільшення витрати палива у період пуску і прогрівання, а також до зростання викидів шкідливих речовин в атмосферу з відпрацьованими газами. Тому передпусковому прогріванню автомобільних двигунів приділяють велику увагу [1-4].

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Останнім часом цю проблему вирішують шляхом використання теплових акумуляторів (ТА), при-

теплоти охолоджуючої двигун рідини (вода, тосол) [10]. Ми вважаємо більш перспективним використання як теплоносія для ТА охолоджуючу двигун рідину.

Виділення нерозв'язаних раніше частин загальної проблеми

Досліджень у цій області недостатньо. Обмежена кількість конструктивних рішень ТА фазового переходу саме для передпускової підготовки ДВЗ автомобілів. Не враховується особливість роботи таких теплоаккумуляторів, яка полягає у тому, що на відміну від інших галузей (наприклад, будівництво, системи опалення, процес сушіння) [11], де вся маса ТАМ постійно знаходиться в контакті з речовиною, якій ТАМ віддає свою теплоту, в нашому випадку охолоджуюча двигун рідина знаходиться як в ТА, так і в оболонці охолодження, і змішується безпосередньо перед запуском двигуна, при цьому її температура знижується. Ця особливість потребує дещо іншого підходу до створення умов стабільної роботи усієї системи. Відсутність даних щодо температурних змін ТАМ, охолоджуючої рідини і двигуна у часі на різних стадіях використання ТА не дозволяє дати рекомендації щодо маси ТАМ, потрібної для забезпечення швидкого запуску двигуна, часу зарядження ТА та перебування його у зарядженому стані.

Ціль роботи полягає у розробці нової конструкції теплоаккумулятора для передпускового прогрівання двигуна автомобіля, виготовленні експериментальної установки для дослідження його роботи і проведення досліджень з метою визначення часу зарядження і розрядження ТА, побудові режимів роботи при зарядженні й розрядженні, визначення потрібної маси ТАМ і габаритів теплоаккумулятора.

Основний матеріал

Нами була запропонована модель теплового акумулятора, в якому як теплоакуючий матеріал фазового переходу був використаний озокерит [$t_{\text{плавлення}} = 56,5\text{--}76,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (в нашому випадку $67\text{ }^{\circ}\text{C}$), $r = 140,6\text{ кДж/кг}$, ρ і c при температурі $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ відповідно 1076 кг/м^3 і $3,151\text{ кДж/(кг}\cdot\text{K)}$]; підтримання ТАМ у розплавленому стані при роботі двигуна відбувалось за рахунок теплоти охолоджуючої рідини – тосолу, а нагрівання і розплавлення ТАМ у разі його застигання після тривалої стоянки здійснювалось за допомогою ТЕНу [10].

Експериментальна установка являла собою замкнену систему ТА – малий контур системи охолодження двигуна (СОД) автомобіля ВАЗ 2109 (рис. 1).

Теплоаккумулятор являє собою дві коаксіальні циліндричні ємності. Внутрішня ємність є кожухотрубчастим теплообмінником з U-подібними трубками, по яких рухається тосол, а міжтрубний простір заповнений теплоакumuлюючим матеріалом. Зазор між двома циліндрами містить теплоізолюючу рідину (наприклад, вода або антифриз), туди ж вмонтований ТЕН.

Кількість тосолу в U-подібних трубках є додатковою до того тосолу, що міститься в малому контурі СОД. Тому для підтримання постійного об'єму тосолу в системі охолодження при відсутності потреби в роботі ТА (наприклад, при русі автомобіля) останній за допомогою електромагнітних клапанів виводиться з СОД, а при потребі знову вводиться.

Експериментальний зразок теплового акумулятора має термопари для дослідження зміни температур ТАМ і тосолу при зарядженні та розрядженні ТА. Точки виміру температури ТАМ вказані на рис. 1, вимір температури

Рис. 1. Експериментальний зразок теплового акумулятора фазового переходу:
1 – циліндрична ємність, заповнена озокеритом; **2** – U-подібна трубка для тосолу, який циркулює в контурі ТА – система охолодження двигуна (кількість трубок може бути різною);
3 – ємність, заповнена теплоізолюючою рідиною; **4** – ТЕН; **5** – трубна решітка; **6** – кришка;
7 – патрубки для введення і виведення тосолу; **8** – електромагнітні клапани; **9** – двигун;
10 – оболонка охолодження двигуна; **11** – насос системи ТА, **12** – насос системи охолодження двигуна. Крапками відмічені місця виміру температури ТАМ.

тосолу проводили на вході в ТА і виході з нього. Для побудови графіків бралися середні значення температур. Зарядженням ТА називаємо нагрівання ТАМ до температури, близької до температури працюючого двигуна, а розрядженням – закінчення процесу кристалізації ТАМ. При цьому необхідно відмітити, що ТАМ може охолоджуватись до температури оточуючого середовища при зупиненому двигуні ще деякий час, що може бути також використано при передпусковому розігріванні двигуна.

Експерименти показали, що на зарядження ТА від температури 40 °С потрібно близько 500 с, або 8 хв. Це означає, що незадовго до зупинки автомобіля теплоаккумулятор треба включити в систему охолодження двигуна для його зарядження. Коли виникає потреба запустити двигун, включається насос системи ТА 11 (рис. 1). Відбувається перемішування тосолу, який зна-

ходився у ТА (його температура близька до температури кристалізації ТАМ), з іншою частиною тосолу, який знаходився в оболонці системи охолодження (температура близька до температури оточуючого середовища), при цьому температура тосолу знижується. Результуюча температура тосолу залежить від його маси (об'єму) і температури ззовні. Об'єм тосолу в ТА ми можемо регулювати, змінюючи кількість U-подібних трубок (одна трубка мала об'єм 0,2 л). Так, в наших експериментах кількість трубок змінювалась від 1 до 6, а об'єм, відповідно, від 0,2 л до 1,2 л.

В таблицях 1 і 2 наведені розрахунки кількості теплоти, яку віддає тосол, що знаходиться в теплоаккумуляторі, і яку отримує тосол з СОД. На основі теплового балансу ми визначили температуру суміші двох частин тосолу – в ТА ($t_{\text{тос.ТА}}$) і в оболонці СОД ($t_{\text{тос.двиг.}}$) (табл. 3).

Таблиця 1. Кількість теплоти, яку віддає тосол, що знаходиться в теплоаккумуляторі в залежності від маси тосолу

Температура тосолу в ТА $t_{\text{тос.ТА}}$	Об'єм тосолу в ТА м^3	Q , кДж
65	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$Q = cm(t_{\text{тос.ТА}} - t_{\text{тос.двиг.}}) = 3,151 \cdot 1,2 \cdot 10^{-3} \cdot 1076(65 - t_{\text{тос.двиг.}}) = 264,46 - 4,07t_{\text{тос.двиг.}}$
	$0,6 \cdot 10^{-3}$	$Q = 132,23 - 2,03t_{\text{тос.двиг.}}$
	$0,2 \cdot 10^{-3}$	$Q = 44,08 - 0,68t_{\text{тос.двиг.}}$

Таблиця 2. Кількість теплоти, яку сприймає тосол, що знаходиться в оболонці охолодження двигуна, в залежності від температури оточуючого середовища ($t_{\text{ззовні}}$)

$t_{\text{ззовні}}$	Об'єм тосолу в СОД, м^3	Q , кДж
10	$3 \cdot 10^{-3}$	$Q = cm(t_{\text{тос.двиг.}} - t_{\text{ззовні}}) = 3,151 \cdot 3 \cdot 10^{-3} \cdot 1076(t_{\text{тос.двиг.}} - 10) = 10,17t_{\text{тос.двиг.}} - 101,71$
5		$Q = 3,151 \cdot 3 \cdot 10^{-3} \cdot 1076(t_{\text{тос.двиг.}} - 5) = 10,17t_{\text{тос.двиг.}} - 50,85$
0		$Q = 44,08 - 0,68t_{\text{тос.двиг.}}$
-5		$Q = 3,151 \cdot 3 \cdot 10^{-3} \cdot 1076(t_{\text{тос.двиг.}} + 5) = 10,17t_{\text{тос.двиг.}} + 50,85$
-10		$Q = 3,151 \cdot 3 \cdot 10^{-3} \cdot 1076(t_{\text{тос.двиг.}} + 10) = 10,17t_{\text{тос.двиг.}} + 101,71$

Таблиця 3. Температура суміші тосолу, що утворюється після перемішування тосолу, що знаходився у ТА, з тосолом оболонки охолодження двигуна

Об'єм тосолу в ТА, л	Температура ззовні, °С				
	10	5	0	-5	-10
1,2	25,7	22,1	18,6	15	11,4
0,6	19,0	15,0	10,8	6,7	2,5
0,2	13,4	8,7	4,1	0,6	-5,3

Дані, наведені в табл. 3, дозволяють розрахувати масу ТАМ, потрібну для забезпечення прогрівання двигуна. Розрахунок проводився з теплового балансу між кількістю теплоти, необхідної для нагрівання тосолю від температури його після перемішування до температури запуску двигуна і кількістю теплоти, що виділяється при кристалізації ТАМ:

$$Q_{\text{нагр.}} = c_{\text{тос.}} \cdot m_{\text{тос.}} \cdot (t_{\text{двиг.}} - t_{\text{сум.тос.}}); \quad Q_{\text{крист.}} = m_{\text{ТАМ}} \cdot r.$$

Так, при масі тосолю 3,44 кг (об'ємі 3,2 л – 3 л в системі охолодження і 0,2 л в трубці ТА) і зовнішній температурі 5 °С при перемішуванні температура тосолю складає 8,7 °С, температура тосолю, потрібна для прогрівання двигуна до 40 °С, складає 50 °С. Тоді маса ТАМ дорівнює 3,16 кг (об'єм 3 л).

При зовнішній температурі 0 °С маса ТАМ складає 3,85 кг (3,58 л) і т.д.

Наші дослідження показали, що для швидкого запуску двигуна його слід прогріти до 40 °С, температура тосолю при цьому повинна складати близько 50 °С. При зупинці автомобіля його двигун приблизно за півтори години (близько 6000 с) (рис. 2, а, крива 1) охолоджується до температур, при яких запуск автомобіля стає утрудненим, а за 3 год температура двигуна наближується до температури оточуючого середовища. Теплоакumuлюючий матеріал завдяки теплоті, що виділяється при його кристалізації, охолоджується значно повільніше (рис. 2, а, крива 2). Теплоізоляція ТА сприяє зменшенню швидкості охолодження ТАМ, як це видно при порівнянні суцільної і пунктирної ліній 2 (область I на рис. 2, а). Тосол, що знаходиться в ТА, має температуру, близьку до температури ТАМ. При наявності теплоізоляції теплоакumuлятора ТАМ (і озокерит ТА) зберігає високу (67 °С) температуру на протязі тривалого часу (ділянка I на рис. 2, а). Так, для запропонованої нами конструкції теплоакumuлятора час розряду вдалося збільшити до 14 год.

При запуску двигуна (ділянка II на рис. 2, а) включається насос, який перекачує тосол в замкненому контурі ТА-СОД. При цьому тосол з ТА (65 °С) переміщується з тосолом оболонки охолодження і температура суміші сягає близько 9 °С (дані табл. 3).

Зарахунок теплоти, що виділяється при кристалізації ТАМ, тосол нагрівається до ~50 °С, а двигун при цьому прогрівається до ~40 °С, що дає можливість здійснити швидкий запуск.

Таким чином, для швидкого запуску двигуна автомобіля при низьких температурах потрібно, щоб ТАМ тривалий час знаходився у стадії кристалізації (тобто, ТА не повинен бути розрядженим), а температура тосолю, який знаходиться в СОД, при цьому складала близько 50 °С.

При тривалій стоянці за низької температури повітря ТАМ повністю переходить у твердий стан, набуваючи температури оточуючого середовища, тому попередньо проводиться нагрівання і розплавлення теплоакumuлюючого матеріалу за допомогою ТЕНу (область I на рис. 2, б). Досліджено зміни температур ТАМ, тосолю при його нагріванні і циркуляції в системі охолодження двигуна і самого двигуна. При температурі 67 °С і вище, коли ТАМ переходить у розплавлений стан, вмикається насос системи охолодження, тосол починає циркулювати в загальній системі ТА-СОД, при цьому він перемішується і нагрівається від тієї частини тосолю, що знаходилась в теплоакumuляторі (ділянка II на рис. 2, б). Температуру суміші можна визначити з даних табл. 3, при температурі оточуючого середовища, наприклад, 5 °С і об'ємі тосолю в ТА 0,2 л вона складе близько 9 °С. Подальше нагрівання тосолю відбувається за рахунок теплоти кристалізації ТАМ. Приблизно за 200 с температура тосолю досягає близько 50 °С, а температура двигуна – 40 °С (область II на рис. 2, б), при цьому двигун запускається за 5-10 с. Далі температури двигуна, тосолю і ТАМ виходять на режимні значення (область III на рис. 2, б). Таким чином, на холостому ходу двигун працює дуже короткий час, завдяки чому вдається уникнути тих негативних наслідків, про які говорилося на початку статті.

На основі отриманих експериментальних даних і розрахунків була створена діюча модель теплового акumuлятора [8]. Вона відрізняється від експериментального зразка наявністю електромагнітних клапанів на патрубках входу тосолю в теплообмінник і виходу з нього.

Розроблений тепловий акumuлятор для передпускового прогрівання ДВЗ був апробований на таких автомобілях, як автобус ХАЗ-3250 з двигуном NISSAN DONG FENG CY4102BZLQ і сімействі автомобілів ВАЗ і довів свою працездатність, що й обумовлює його можливість широкого застосування.

Висновки

Створена експериментальна модель теплового акumuлятора для передпускового прогріву двигуна автомобіля, яка була включена в замкнений контур з системою охолодження двигуна. На моделі були проведені

Рис. 2. Режими роботи системи ТА-СОД:

а – охолодження двигуна і ТАМ при стоянці автомобіля і наступний запуск двигуна;
б – передпускове зарядження ТА і наступний запуск двигуна. **I** – ділянка охолодження для **а**, нагрівання ТЕНОм для **б**; **II** – ділянка прогріву і запуску автомобіля; **III** – ділянка стабільної роботи при русі автомобіля; **1** – зміна температури двигуна; **2** – тосолу; **3** – ТАМ.

дослідження процесів зарядження і розрядження теплоаккумулятора. Визначений час, потрібний для проведення цих процесів, і на цій основі побудовані режими роботи системи ТА-СОД. Розраховані температури тосолу в системі охолодження надали можливість встановити масу (об'єм) ТАМ в ТА, що послужило основою для визначення габаритів теплового аккумулятора.

Представляє інтерес створення комп'ютеризованої системи управління вмиканням-вимиканням теплоаккумулятора з метою підтримання потрібної температури охолоджуючої двигун рідини за допомогою ТАМ фазового переходу і управління цією системою, використовуючи додатки до телефонів.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Теплоэнергетические системы* транспортных машин / [Куликов Ю. А., Быкадоров В. В., Котнов А. С. и др.]; под ред. Ю. А. Куликова. – Луганск: «Елтон-2», 2009. – 365 с.
2. *Симоненко Р. В.* Покращення паливної економічності і екологічних показників автомобілів шляхом раціонального прогріву їх двигунів: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.20 / Симоненко Роман Вікторович. – Київ, 2003. – 192 с.
3. *Вашуркин И.О.* Тепловая подготовка и пуск ДВС мобильных транспортных и строительных машин зимой / Вашуркин И. О. – СПб.: Наука, 2002. – 145 с.
4. *Косенков И.А.* Результаты экспериментальных исследований системы предпусковой подготовки двигателей / А.П. Картошкин, И.А. Косенков, Д.С.Агапов // Сб. науч. трудов Международной научно-технической конференции «Улучшение эксплуатационных показателей автомобилей, тракторов и двигателей», СПбГАУ, - СПб. - 2010. - С. 302 - 310.
5. *Пыхтя В. А.* Экспериментальные исследования системы предпускового разогрева двигателя с тепловым аккумулятором. Вісник СНУ ім. Володимира Даля – 2010 – № 6 (148), с. 246-251.
6. *Куликов Ю.А., Пыхтя В.А.* Тепловой аккумулятор для предпускового разогрева двигателя автомобиля. Декл. пат. на кор. мод. и 2007 13253 Україна, МПК (2006) F02N 17/00, F24H 7/00. Тепловий акумулятор [Текст] / Ю. А. Куліков, В. О. Пихтя, А. О. Галатов; заявник та патентовласник Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля. - № 31104; заявл. 28.11.2007; опубл. 25.03.2008, бюл. №6.
7. *Патент на винахід № 2150603.* РФ. Тепловий акумулятор фазового переходу [Текст] / Шульгін В.В., Гулін С.Д., Яковлев С.А. – 98121746/06; заявл. 01.12.1998; опубл. 10.06.2000. Бюл. № 16.
8. *Sharma A., Tyagi V.V., Chen C.R., Buddhi D.* Review on thermal energy storage with phase change materials and applications. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2009. Vol. 13, No. 2. P. 318–345. DOI: 10.1016/j.rser.2007.10.005.
9. *Agyenim F., Hewitt N., Eames P., Smyth M.* A review of materials, heat transfer and phase change problem formulation for latent heat thermal energy storage systems (LHTESS). Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2010. Vol. 14, No. 2. P. 615–628. DOI: 10.1016/j.rser.2009.10.015.
10. *Русанов С.А., Ключев О.И., Анпазов Е.С. Луняка К.В., Коновалов Д.В., Мацків Б. М.* Тепловий акумулятор системи передпускового прогріву двигуна внутрішнього згорання. Патент на корисну модель № 137780 Україна, МПК F02N 17010; опубл.в бюл. № 21, 2019 р.
11. *Корінчевська Т.В.* Теплофізичні властивості теплоакумуючих матеріалів з фазовим переходом на основі органічних сполук: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.06 / Корінчевська Тетяна Володимирівна. – Київ, 2017. – 211 с.

THE RESEARCH OF THE WORK OF THE HEAT ACCUMULATOR OF THE PRE-STARTING SYSTEM OF WORMING UP OF THE INTERNAL COMBUSTION ENGINE

Lunyaka K.¹, Kliuiev O.², Rusanov S.², Kliuieva O.²

1 - Admiral Makarov National University of Shipbuilding, the Kherson branch of the National University of Shipbuilding, 44 Ushakov av., Kherson, 73022, Ukraine
2 - Kherson National Technical University, Beryslavske highway, 24, Kherson, Ukraine, 73024, Ukraine.

<https://doi.org/10.31472/tpe.3.2020.9>

Problem statement. Starting internal combustion engines for a large car fleet at ambient temperature of less than 5 °C requires considerable time; it leads to increased wear of the components of the connected engine pairs, increased fuel consumption during start-up and warm-up and increased emissions of harmful substances into the atmosphere with exhaust fumes. Therefore, prestart warming up of car engines is given great attention.

Actual scientific researches and issues analysis

Recently, this problem has been solved by using heat accumulators, moreover, heat accumulators with heat storage material of a phase transition are given preference.

The engine exhaust gases (temperature 600-700 °C) or the engine cooling liquid (water, tosol cooling agent) are used as a heat transfer agent. Given the negative impact of high temperatures on the heat storage material, the metal of the heat storage structure and overheating (boiling) of the engine coolant, the first way has certain disadvantages. In this regard, we consider it more promising to use a liquid cooling engine as a coolant for a heat accumulator. High temperatures have no positive affect on the heat storage material, the metal of the heat storage structure and these are a cause for boiling a coolant –cooler of the engine. In this regard, we consider more promising to use a cooling fluid of the heat accumulator as a heat transfer agent.

The aim of this work is to develop a new design of a heat accumulator for pre-starting warming up of a car engine, to make the experimental installation to research its work and conducting researches in order to find the time of charging and discharging of the heat accumulator, to construct operating modes during charging and discharging, to determine the necessary mass of the heat-accumulating material and the battery size.

Base material

The experimental installation was a closed system: the heat accumulator — a passage of the VAZ 2109 car engine

cooling system. Taking into account the work peculiarities of the heat accumulator in the cooling system of the car engine, unlike other areas where all mass of the heat storage material constantly is in contact with the substance which the heat storage material giving up heat, in our case, the engine cooling liquid is located in the heat accumulator and in the cooling jacket. They mixes before starting the engine, while its temperature decreases. The time of charging and staying of the heat accumulator in the charged state has been determined, the operating modes during charging and discharging have been constructed, the necessary mass of the heat-accumulating material and the battery size has been determined.

Conclusions

The experimental model of the heat accumulator of the pre-starting system of warming up of the engine of the car has been developed. This experimental model is included in a closed circuit with engine cooling system. On the model the researches of charging and discharging process of the heat accumulator have been conducted. The required time for these processes has been determined and on this basis the modes of operation of the heat accumulator - engine cooling system have been constructed. The temperatures of tosol cooling agent in the cooling system were calculated and it allowed finding mass (volume) of heat storage material of the heat accumulator and it served as the basis for determining the size of the heat accumulator.

Establishment of a computerized control system on/off control of the heat accumulator in order to maintain the desired temperature of the engine coolant liquid using of heat storage material of phase transition and controlling this system using supplements to phones.

References 11, figures 2, tables 3.

Key words: heat accumulator, heat storage material of a phase transition, car engine, engine start.

1. Kulikov YU. A., Bykadorov V. V., Kotnov A. S. [The thermal power systems of transport machines], Lugansk, Elton-2 [Elton-2], 2009. 365p.

2. Simonenko R. V. [Improving fuel economy and environmental performance of cars by rationally warming their engines], Kyiv, dissertaciya [dissertation], 2003. 192p.

3. Vashurkin I.O. [Thermal preparation and start-up of the Internal Combustion Engine of mobile transport and construction vehicles in winter], Sankt-Peterburg, Nauka [Science], 2002. 145p.

4. Kosenkov I.A., Kartoshkin A.P., Agapov D.S [Results of the pilot studies of the engine start-up system], Sankt-Peterburg, Uluchshenie ekspluatatsionnyh pokazatelej avtomobilej, traktorov i dvigatelej [Improving the service performances of motor vehicles, tractors and engines], 2010. P. 302-310.

5. *Pyhtya V. A.* [Experimental studies of the engine preheating system with a thermal battery], *Visnyk SNU im. Volodymyra Dalia* [Bulletin of the Volodymyr Dahl SNU], 2010. № 6 (148). P. 246–251.
6. *Kulikov Y.A., Pyhtya V.A.*, [The heat accumulator for pre-start warming up of the car engine], *Deklaracionnyj patent na poleznuyu model* [Patent declaration for utility model], 2008. № 31104.
7. *Shulhin V.V., Hulin S.D., Yakovliev S.A.* [Phase transition thermal accumulator], *Patent na vynakhid* [Patents of invention], 2000. № 16.
8. *Sharma A., Tyagi V.V., Chen C.R., Buddhi D.* [Review on thermal energy storage with phase change materials and applications], [Renewable and Sustainable Energy Reviews], 2009. Vol. 13. No. 2. P. 318–345.
9. *Agyenim F., Hewitt N., Eames P., Smyth M.* [A review of materials, heat transfer and phase change problem formulation for latent heat thermal energy storage systems (LHTESS)], [Renewable and Sustainable Energy Reviews], 2010. Vol. 14. No. 2. P. 615–628.
10. *Rusanov S.A., Kliuiev O.I., Appazov E.S. Luniaka K.V., Konovalov D.V., Matskiv B.* [The internal battery of the internal combustion engine pre-heat system battery], Ukraine, *Patent na korysnu model* [Utility model patent], 2019. № 21.
11. *Korinchevska T.V.* [Thermophysical properties of phase-based heat-storage materials based on organic compounds], Kyiv, *dissertaciya* [dissertation], 2017. 211p.

Отримано 01.06.2020
Received 01.06.2020